



## 目次

問題の定義	3
 自己満足の代償	5
	6
	8

### 湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示が重要な理由。

湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示とその他の路面標示との相違点。

明るく晴れた日には路面標示は見やすく、古くて磨耗している標示でも、理想的な状況下ではドライバーに十分なガイダンスを提供できます。しかし、夜になるとどうでしょう?雨が降って道路が濡れたときはどうでしょう?このような状況では、湿潤時再帰反射性能を持たない路面標示は目立たなくなってしまい、ドライバーの視認性や快適感は減少し、コネクテッドカー(Connected Autonomous Vehicle: CAV)の車線誘導システムの効果が低下し<sup>4・5</sup>、事故のリスクが高まります。これが、晴れた日であっても荒天の夜でもドライバーが安全を保つために、選択されるマーキングの種類が重要である理由です。視力の低下がみられる高齢ドライバーの増加など、ドライバーの人口動態の変化を考慮する場合は特に重要です。

最近では、2014年から2016年にかけて、ジョージア州運輸局 は驚くべき傾向を認めました。

「ジョージア州全体で事故死者数が増加しました。データを見る と、州全体でこれらの死亡事故は、湿潤条件と夜間条件で非常に 多く発生していることがわかりました。最終的にこれらの数を減 らすためには、この傾向に直接影響を与える路面標示材を整備する 必要がある、と私たちは考えました」とジョージア州運輸局の州交 通エンジニアのアンドリュー・ヒュース氏は述べています。

今日、多くの道路当局が交通事故死者数の減少に向けて交通安全対策を実施していますが、夜間、濡れた路面状況と衝突の相関関係を理解することはとても重要です。 夜間や雨天時には、湿潤時再帰反射性能を有しない路面標示は見づらくなり、次のようなことを引き起こします。



詳細については、ジョージ アのケーススタディビデオ をご覧ください。

● 動画を見る



ドライバーの 視認性の低下3



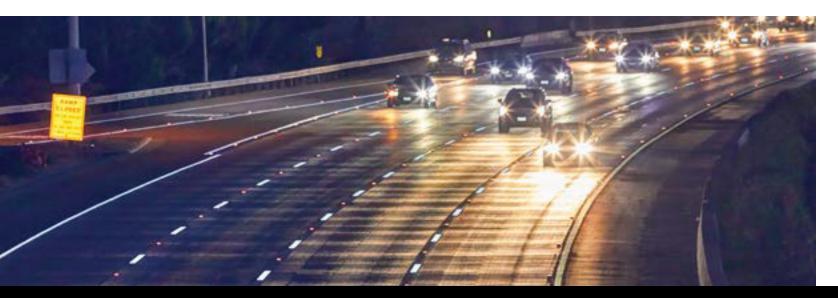
ドライバーの 不快感の増加<sup>3</sup>



**CAVの車線誘導システム** の効果が低下する<sup>4、5</sup>



衝突リスクが 高まる<sup>8</sup>



「…これらの死亡 事故の多くは、雨天 時や夜間に発生して います…」

アンドリュー・ヒュース、 ジョージア州運輸局州交通 エンジニア



### 違いは昼と夜、そして雨の夜です。

暗くなったり、雨が降ったときに、選択した路面標示がどれほど大きな違いをもたらすかは、私たちがお伝えすることもできますが、実際にお見せする方がインパクト があるかもしれません。

#### ドライバーの視界。



日中で乾燥している場合 湿潤時再帰反射性能を有しない路面標示とセンターライン、それを有する黄色い外側線の両方が見えます。



夜間で乾燥している場合 乾燥した夜の状況では、両方のタイプの路面標示が見えます。



夜間で雨が降っている場合 湿潤時再帰反射性能を有しない路面標示とセンターラインは 消えているように見えますが、湿潤時再帰反射性能を有する 全天候型路面標示ははっきりと見えます。

ご覧のとおり、湿潤時再帰反射性能を有しない路面標示の一部 は、雨に濡れると暗闇の中で事実上消えてしまい、ドライバーは 次の車線が左折車線であることに気付けなくなります。

人口の多様化と高齢化、運転支援車や自動運転車、そして経験の 浅いドライバーも路上に混在する中、さまざまな条件で人間と自 動車のカメラの両方に見える路面標示を整備することが、これま で以上に重要になっています。

道路の中のどの場所を 運転したいですか?

湿潤時再帰反射性能を有する 路面標示の違いをご覧く ださい。

● 動画を見る

### 統計が物語ります。

重要な項目が多数あります - 各数値をご確認ください。

2017年、雨が降っていたときに米国の道路で起きた事故では、6,952人が死亡しました。夜間の移動は25%に過ぎないにもかかわらず、そのうち55%(3,811人)が夜間または暗い場所で死亡しているという驚くべき事実があります。6

雨や光の状態は、事故のリスクを過剰に高める要因となります。2015年にテキサス州で実施された調査では、州内の雨天による相対的な事故リスクの時間的および空間的変動性が調査されました。研究者たちは、降雨によって州全体の事故リスクが約57%増加し、夜間の状況では80%も増加することを発見しました。<sup>2</sup>



125万人

の命が、世界で交通事故により毎年失われています

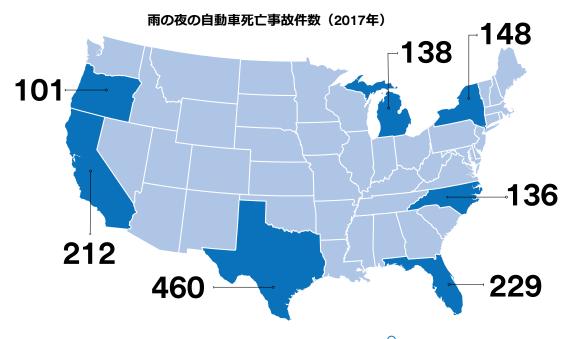
出典:WHO。Road Traffic Injuries, Jan., 2018.



49%の致命的な事故

が、交通量は日中の方がはるかに多いとはいえ、 夜間に発生しています。

情報源:フォーブス。Most Dangerous Times to Drive (2009年1月)。



### フランスの事故について研究

フランスでは、過去12年間に同様の事故データ調査が実施されました。フランスの平均的な交通密度(交通量の90%は日中に発生)を調整して統計分析を行ったところ、夜間に運転すると、傷害を伴う事故のリスクが3.5倍、死亡事故のリスクが6倍に増加することがわかりました(日中に運転する場合と比較して)。雨の夜には、それらの数はそれぞれ7.7倍と10倍に上昇します。7

路面標示の視認性を高めることで、特に暗闇や雨天時、濡れた状態での事故が減少することが証明されています。\*また、統計によると、夜間や雨天時の運転では、ドライバーが事故に巻き込まれる可能性がはるかに高くなります。ドライバーがこれらの状況をより適切に対応できるように道路を改善することは、事故、負傷、死亡、およびコストの削減につながります。



小雨または大雨の夜間に運転 すると、負傷に関連する事故 のリスクが高まります。

7.7倍

そして致命的な事故のリスクも高まります。

10倍

昼間の運転と比較し

出典:BAAC(フランスの道路交通 データベース、政府のオープンデータ)。

# 第三者の調査によると、湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示は衝突を減らすことができます。

ドライバーは今日、効果的な路面標示に依存しており、今後も変わることはないでしょう。

ここ数年、米国で販売された自動車の半数以上に車線逸脱警報システムなどの自動化技術が搭載されていますが、自動車の運転はまだまだドライバーが行うことが多いのが実情です。どのような路面標示であっても、これらのドライバーや他の道路利用者の安全を守るためには、どのような天候であっても視認性を確保する必要があります。

2015年、米国連邦道路局は、ミネソタ州、ノースカロライナ州、ウィスコンシン州で使用されている湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示の厳密な事前事後評価を行い、推奨される事故修正係数(CMF)を策定しました。多車線道路での負傷を伴う事故の推奨CMFは0.595、高速道路でのCMFは0.881であり、これらの種類の事故が湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示の導入後にそれぞれ40%、12%減少することを示唆しています。8

同様に、Texas A&M Transportation Instituteによる2018 ~2019年の調査では、テキサス州運輸局のアトランタ地区に

おける湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示の有効性が評価されました。この調査では、湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示が設置された約630マイルの道路で、雨天時や夜間の衝突事故を特に調査しました。この調査では、これらの道路に湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示を実装すると、雨天時の衝突事故が約30%減少し、雨天時の死亡者数が約50%減少することがわかりました。9

最後に、EUが後援する調査であるRainvisionによると、路面標示がドライバーの行動に与える影響については、再帰反射式路面標示材を道路に施工することで、特に悪天候時に、ドライバーの主観的な安全感や快適性にプラスの効果をもたらしました。夜間や雨天時の走行では、再帰反射式路面標示が走行経路を明確にし、道路環境を予測する刺激を与え、ドライバーの負担を大幅に軽減します。逆に、路面標示が見えにくくなると、ドライバーのミスが70%増加しました。3

#### 湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示の安全性評価

アメリカ連邦高速道路局(The Federal Highway Administration: FHWA)が推奨する事故修正要因: 負傷を伴う事故

<sup>高速道路</sup> 12% 減少率 表A:湿潤時反射性能を有する全天候型路面路面標示の安全効果

#### 湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示の事故低減率の推定値

アプローチ	雨 – 夜*	雨 – 夜間の死亡者数*
経験的ベイズ法(EB)	28%	53%
完全ベイズ法 (FB)	32%	49%

\*95%の信頼度で統計的に有意な結果



### コネクテッドカーや自動運転車の安全性を ターゲットにします。

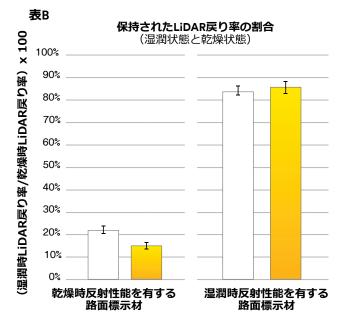
人間のドライバーと同様に、湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示により、より堅牢なマシンビジョンも可能になります。

最近の研究では、現在車に搭載されている光学カメラシステムであれ、将来搭載されるライダー(Light Detection and Ranging LiDAR であれ、湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示が先進運転支援システム(Advanced Driver Assistance Systems ADAS、やコネクテッドカー Connected Autonomous Vehicle CAV の視認性を向上させることが示されています。。

Society of Automotive Engineersに掲載された、グレア(まぶしさ)光源がある場合とない場合の、夜間の連続降雨時における車線逸脱警報に対する路面標示の湿潤時再帰反射率と輝度の影響の調査で、3Mの研究者は、夜間の連続した雨の中で、白と黄色の路面標示材の湿潤時再帰反射性能と輝度がMobileye社の車線逸脱防止 Lane Departure Warning LDW)システムの検出性能に及ぼす影響を調査しました。

彼らは、特定の信頼水準での検出の割合が、拡散輝度特性と連続的な湿潤再帰反射率の2つの因子の相互作用と相関することに気づきました。研究者らは、特定の信頼水準での検出の割合が、拡散輝度特性と連続的な湿潤再帰反射率のの2つの因子の相互作用と相関している可能性を提案しています。

また、別の研究では、継続的に濡れている道路状況において、マシンビジョンによる特徴検出、光検出、LiDARシステムのための湿潤時再帰反射性能を有する全天候型路面標示の性能効果を具体的に分析しました。表Bは、乾燥時再帰反射性能を有する路面標示と湿潤時再帰反射性能を有する路面標示の夜間雨天時におけるLiDAR戻り率をプロットしたものです。このスクリーニング調査の予備的な結果から、湿潤時再帰反射性能を有する路面標示材はマシンビジョンシステムとLiDAR技術の両方に有利である可能性が示唆されました。4





「夜間の雨天時には、黄色の路面標示のガラスビーズよりも、湿潤時再帰反射性能を有する反射素子がより遠い距離での検出が可能です」\*

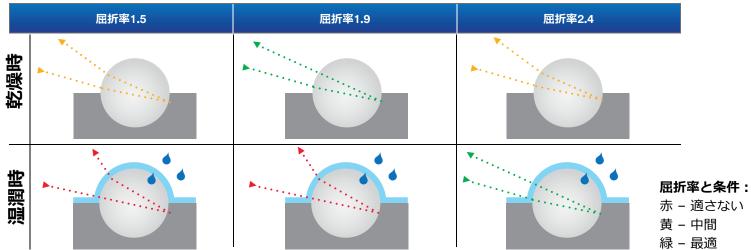
\*2017年12月に米国ミシガン 州ブリムリーでContinental Automotive Systems Inc.と共同 で実施したテストに基づく。テストされた素材は、一般的な運転 環境で夜間雨天時での、黄色の LPM(Liquid Pavement Marking) ラインや、ガラスビーズまたは3M の反射素子です。

### 反射素子はすべて同じ、というわけではありません。

湿潤時連続再帰反射性能を有する、さまざまなタイプの全天候型路面標示材路面標示材の科学。

一般に、夜間に路面標示が見えるのは、標示上または標示内の再帰反射素子が自動車のヘッドライトからの光を運転 手に返しているからです。ただし、光を戻すのに適した素子は状況によって異なります。単一のビーズで乾燥状態 と湿潤状態の両方に最適化することはできません。







#### ● ビデオをご覧ください

屈折率2.4のビーズを使 用した標示材は、他の ビーズを使用した標示材 が見えない可能性がある 湿潤状態でも確認するこ とができます。これは、 光学カメラをベースにし たマシンビジョンシステ ムにも当てはまります。 路面標示の違いについて 詳しくは、ビデオをご覧 ください。

### 反射素子を施工する前にテストする方法。

カップブライトネス試験は、再帰反射輝度の予想される係数の指標を提供します。

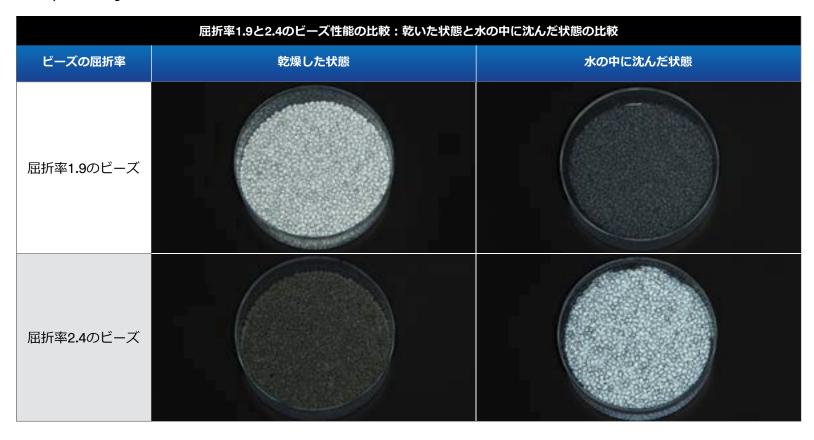
ガラスビーズや反射素子の組み合わせによって、どのような湿潤時再帰反射性能が期待できるか、実際に道路に施工する前に把握することがベストです。そのため、仕様決定の前にカップブライトネス試験を活用されることをお勧めします。特に湿潤用反射素子には、模擬的な連続降雨条件のでの性能把握をお勧めします。

ASTM(米国材料試験協会規格:Standards of American Society for Testing and Materials 連続湿潤法(次のページを参

照)は、湿潤時再帰反射性能の推奨テスト方法ですが、すべての路面標示で測定を行うのは難しい場合があります。連続湿潤法に加えてカップブライトネス試験を指定すれば、望ましい輝度レベルを満たすことが保証されます。カップブライトネス試験は、製品を施工する前に実験室で、限られた材料を使用して実行できます。

この方法の詳細について は、3M Connected Roads All Weather Elements Product Bulletinの2ページ目 を参照してください。

● PDFをダウンロードする



### 連続湿潤法と湿潤回復法は、試験方法が異なります。

並べてテストすると、雨の状態と濡れた状態に大きな違いがあることがわかります。

ほとんどのドライバーは、土砂降りの雨の中、暗くて慣れない高速 道路を運転してハラハラした経験があると思います。路面標示は古 くて色あせており、交換する必要があると思ったかもしれません。 しかし真実は、路面標示が連続湿潤の条件下で機能するようにテス トおよび設計されていなければ、それらがどれほど古くても新しく ても、大きな違いはありませんでした。一般的な路面標示は、連続 降雨の状態で機能するようには設計されていません。

世界的に、路面標示の湿潤反射率を測定するために使用される 試験方法には2つのタイプがあります。連続湿潤法(Continuous wetting methods)、これは、降雨時の路面標示の湿潤時再帰反射 をシミュレートする方法です。一方、降雨が止み、標示が回復また は排水した後の路面標示の湿潤時反射性をシミュレートするのが湿 潤回復法(Wet Recovery methods)です。活用可能な湿潤時再帰 反射試験方法の概要については、以下の表Aを参照してください。

乾燥状態での湿潤回復法 (Wet Recovery methods)と連続湿潤法 (Continuous wetting methods)



#### 表Α

タイプ	連続湿潤法	湿潤回復法
ASTM	E2832	E2177
EN	EN1436付録B7	EN1436付録B6

#### どのタイプのテスト方法がより現実的ですか?

一般的に、連続湿潤法は、湿潤回復法に比べて、通常の降 雨における実際のドライバーの経験に近い結果が得られま す。これは、連続湿潤法が雨天時にドライバーが体験する 湿潤時再帰反射のレベルをシミュレートするのに対し、湿 潤回復法法は雨が止んだ後の瞬間にのみシミュレートする ためです。

#### 隆雨状態での湿潤回復法と連続湿潤法



**● テスト方法について** 詳細をご覧ください。

### 仕様書を作成する際の注意点。

路面標示の規格または仕様を作成する際に、交通エンジニアが考慮すべきことは次のとおりです。

交通エンジニアは、路面標示の仕様や規格に記載する、推奨さ れる供用期間中の湿潤連続法での再帰反射率の値をしばしば問 います。最近の地域のATSSA(American Traffic Safety Services Association) トレーニングおよび教育ワークショップで共有さ れた今後のテキサス交通研究所(TTI)の調査研究からの予備 データは、この質問に答えるのに役立ちます。TTIはミネソタ運 輸省と協力して、さまざまな湿潤時再帰反射値の関数として路面 標示の検出距離を決定するためのヒューマンファクター調査を実 施しました。地域のATSSAワークショップで議論された予備調査 結果は、3連続湿潤法で50 mcd/m²/luxが、使用中の路面標示の 適切な更新のしきい値であることを示唆しています。しかしこれ は最低限であり、最適とはほど遠いものです。

#### なぜ50 mcd/m²/luxは最適とはほど遠いのでしょうか?

50 mcd/m²/luxは、時速55マイルでドライバーに1.9秒のプレ ビュー時間を提供します。最適な路面標示設計の推奨がタスクで あった、EUの研究COST 331で報告されたドライビングシミュ レーターの研究11は、安全運転のための絶対最小プレビュー時間 は1.8秒であることを示しました。そうしないと、ドライバーは 安定した車線維持を維持するのに苦労します。著者らは、これは 最低限の値であり、より高い値を使用する必要があることを強調 しました。COST 331レポートは、2.2秒の推奨プレビュー時間 を設定しました。

米国FHWAは1998年に同様の調査を実施し12、短区間での極端な 運転条件では2秒のプレビュー時間を安全な最小許容限界、つま りドライバーが危険な条件で路面標示を認識し反応するのに十分 な時間、と決定しました。

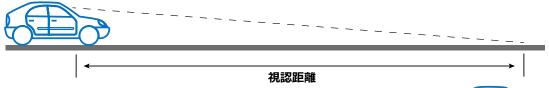
#### 連続湿潤法での再帰反射率のレベルが高いほど、より優れている のです。

表Aは、公開されているTTI研究の予備調査結果から計算されたさ まざまなプレビュー時間と速度での、推奨される連続湿潤法での再 帰反射率の最小値を示しています。10異なる速度またはプレビュー 時間には、より高い連続湿潤法での再帰反射値が必要です。夜間の 暴風雨の際にドライバーが時速70マイルで走行することはまれか もしれませんが、この調査は、より高い連続湿潤法(での値とより 長いプレビュー時間の関係を文書化する上で重要です。

表A: 公開されたTTI研究の予備調査結果から数学的に導き出され た、連続湿潤法での再帰反射率の最小値

	1.8秒のプレビュー時間	2.2秒のプレビュー時間
時速55マイル	50 mcd/m <sup>2</sup> /lux	130 mcd/m²/lux
時速70マイル	170 mcd/m²/lux	970 mcd/m²/lux

図1:「プレビュー時間」とは何ですか?ある時点での状況



視程距離を移動するのにかかる時間=プレビュー時間



### 結論:路面標示には多く必要な要素があります。

路面標示の視認性は、昼夜晴雨を問わず重要です。

路面標示を設置することは、道路プロジェクト完成のための最後 の作業の1つかもしれませんが、安全性の向上、事故の低減、お よび人命の救済に役立つ最初のステップです。世界で最も美しい 道路であっても、暗く雨の多い状況下でナビゲートが難しい場合 は、あまり意味がありません。

お読みいただいたとおり、夜間や降雨状態の運転では、事故、負 傷者や死亡者が増加します。マシンビジョン技術に依存する車両 が増えるにつれて、懸念が高まる可能性があります。また、一般 的な路面標示と湿潤時反射性能を有する全天候型路面標示の違い を確認し、その背後にある科学について学びました。

制御できないものは常にありますが、設置する路面標示材の種類 は選定できます。最も重要な状況で反射輝度を提供するように設 計されているのは、連続湿潤法で高い性能を示す全天候型路面標 示材のみです。

全天候型路面標示材の詳細とデモンストレー ションは、3M担当者にお問い合わせください。

3M.com/PavementMarkings





トランスポーテーション セーフティ事業部

3Mは、3M社の商標です。 © 3M 2019. All rights reserved.

### ソースと参考文献

世界中の全天候型路面標示材示の重要性について詳しく知るには、この電子ブックで参照されている 次の調査とドキュメントを調べることをお勧めします。

- 1. US DOT National Highway Traffic Safety Administration. Passenger Vehicle Occupant Fatalities by Day and Night - A Contrast.May 2007, https://crashstats.nhtsa.dot.gov/ Api/Public/ViewPublication/810637
- 2. Omranian, S., Sharif, H., Dessouky, S., Weissmann, J., "Exploring rainfall impacts on the crash risk on Texas roadways: A crash-based matched-pairs analysis approach." Accident Analysis and Prevention, vol. 117, 2018, pp. 10-20
- 3. Konstandinos Diamandouros, and Michael Gatscha. "Rainvision: The impact of road markings on driver behavior - wet night visibility".6th Transport Research Arena, April 18-21, 2016. European Road Federation
- 4. Pike, A., Clear, S., Hedblom, T., and Whitney, J. "How Might Wet Retroreflective Pavement Markings Enable More Robust Machine Vision?" Transportation Research Record 1-6, 2019
- 5. Pike, A., Clear, S., Barrette, T., Hedblom, T. et al., "Effects of the Wet Retroreflectivity and Luminance of Pavement Markings on Lane Departure Warning in Nighttime Continuous Rain with and without Glare Sources," SAE Technical Paper 2019-01-1014, 2019
- 6. US DOT National Highway Traffic Safety Administration, Fatality Analysis Reporting System (FARS).2017 - Available from: https://www.nhtsa.gov/research-data/fatalityanalysis-reporting-system-fars

- 7. 3M France, Combating Poor Road Safety To Enhance the Safety of Road Users at Night and in All Weather Conditions. August 2019. Data collected from BAAC (Road Traffic Injury Database)
- 8. US DOT Federal Highway Administration. Safety Evaluation of Wet-Reflective Pavement Markings.Dec. 2015, FHWA-HRT-15-083
- 9. Park, ES., Carlson, P., Pike, A., "Safety Effects of Wet-Weather Pavement Markings." Transportation Research Board 2019 Annual Meeting: Available from: https://trid.trb.org/ view/1572259
- 10. Peterson, E., "Wet Pavement Where are the Markings?!?" Northland American Traffic Safety Services Association, "How To" Training and Education Workshop, Mar. 2019
- 11. Requirements for Horizontal road Marking. COST 331. Luxembourg: office for Official Publications of the European Communities, 1999.
- 12. Freedman, M., L.K.Staplin, D.P.Gilfillan, and A.M.Brynes.Noticeability Requirements for Delineation on Non-Illuminated Highways.Report No. FHWA-RD-88-028, FHWA, US DOT, 1998

#### 適切な路面標示材の選定にお困りですか?

3Mの専門家に連絡して、交通の混乱を最小限に抑え、道路の安全性を向上させることができる路面標示材の選択にお役立てください。

• お問い合わせ